

路面標示モニタリングに向けた劣化パターン分類による区画線の視認性評価

西野 咲子

指導教員：小栗 宏次

1 はじめに

老朽化した道路構造物の修繕や維持管理が大きな社会問題となっている。道路構造物を含む社会資本の維持管理・更新費は2060年までに約30兆円も賄えないとの試算が出ており、効率のよい維持管理が求められている。路面標示も道路構造物であり、路面標示の塗り替え箇所を効率よく把握していく必要がある。現在は目視評価に塗り替えの判断が委ねられているが、すべての路面標示を目視で評価することは非現実的であり、そうした特性から修繕計画を立てるのが困難となっている。

本論文では路面標示を低コストに維持管理するために、連続的な路面標示状態評価を可能とする剥離率推定手法を提案する。また、ドライバの視認性を考慮した客観評価を行うために、区画線の劣化パターンの分類を行い、人が行う主観的目視評価ランクに対応した客観的視認性評価を可能とする方法を提案する。

2 区画線の剥離率推定

先行研究 [1, 2] では、区画線の効果的な塗り直しを目的とし、区画線損傷度の予測や塗り直し区間の解析を行っている。これらは一定区間毎に解析を行っているため、塗り直しが必要な区間の見落としや塗り直し区間の決定に必要な情報が不足する。

本研究で提案する剥離率推定手法の流れを図1に示す。車両前方下部に設置した車載カメラ(図2)から道路面の撮影を行い、射影変換により俯瞰画像を得る。次に、各連続フレーム間で道路領域のマッチングを行い、路面画像の合成を行う。路面画像から区画線の抽出を行うために、路面画像に二値化処理を行い、オープニング処理によるノイズ除去を行う。その後、求めた近似曲線から幅150mmとなる線分を作成し、その結果を理論画像とする。最後に、二値画像と理論画像の白画素の比較により連続的な剥離率推定を実現する。

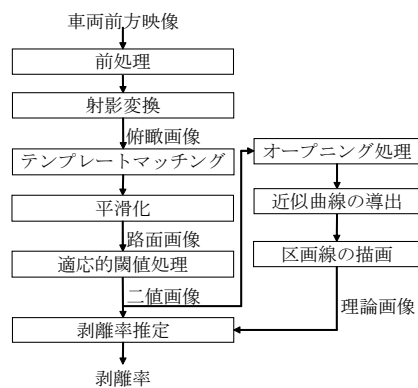


図1 剥離率推定アルゴリズム



図2 計測車両と車載カメラ

3 連続的剥離率推定の評価実験

右左折のない約800m間の道路を実車両により計測した。走行速度は法定制限速度もしくは50km/h以下とした。車載カメラは助手席側の車両前方下部に搭載し、走行車線の左前方の映像を撮影した。車載カメラの画像サイズは3840×2160pixel(垂直画角69.5deg, 水平画角118.2deg), フレームレートは15fpsである。図3に20mの合成した路面画像2枚を示し、それらの画像の1m毎の剥離率の変化を図4に示す。



図3 路面画像1および2

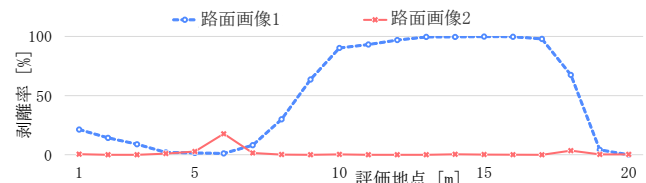


図4 区画線の剥離率変化の様子

図3と図4に着目すると、区画線の損傷が大きい箇所が剥離率も高くなっていることが確認できる。図4は1m毎の剥離率であるが、図3左側に記されている剥離率は画像20mでの剥離率である。このことから、評価区間の長さが剥離率結果に大きく影響し、劣化箇所の見落としに繋がる可能性があることがわかる。したがって、提案手法のように長い距離の合成画像を生成して短い区間での剥離率を連続的に推定していくことで、塗り直し必要区間の発見漏れの低減に繋がる。

4 区画線の劣化パターン分類と画像クラスタリング

第2節で提案した剥離率を用いた路面標示の塗り直し判断には、路面標示の劣化評価のような視認性の考慮が欠けている。路面標示はドライバに情報を提供するための交通安全設備であるため、その役割を果たすためにはドライバによる視認性が重要である。本研究では、区画線の視認性に劣化の仕方が関係していると考え、劣化パターン分類や画像クラスタリングを行い、目視評価ランク[3]と剥離率や画像特徴との関係を分析することで視認性を考慮した評価を目指す。

劣化画像のクラスタリングを行うために本研究では走行映像を射影変換して得られる俯瞰画像を用いる。まず、俯瞰画像から区画線(実線)の写っている画像を選別し、第2節の剥離率推定手法を適用して理論画像の作成および剥離率の推定を行う。その理論画像の画素 (i, j) の輝度値 $p(i, j)$ が $p(i, j) = 255$ を満たす画素の集まりを特徴抽出領域とする。

次に特徴抽出領域から、剥離率 s 、輝度値平均 μ 、輝度値標準偏差 σ^2 、白領域が当てはまる回数 w_{255} 、残存領域と剥離領域の輝度値差 $\alpha, \theta = 0, 45, 90, 135$ [deg]方向のランダムさ p_θ 、黒領域が当てはまる回数 b_{255} を求める。これらから先行研究[3, 4]に基づいて路面標示劣化パターンを表1の通り定義する。画像特徴に基づき、「なし」「ひび割れ」「擦れ」「剥がれ」に加え、これら

表 1 劣化パターンの定義

パターン	定義内容（上段：画像特徴に基づいた定義，下段：劣化パターンの十分条件）
なし	剥離箇所があまり見られない．ほとんどの画素の輝度値が高く，輝度値のばらつきがほとんどない． $s \leq 3 \cup (\mu \geq 200 \cap \sigma^2 \leq 200)$
ひび割れ	太さの細い亀裂（割れ目，裂け目）が見られる． $0.1 \leq w_{25} \leq 0.95$
擦れ	全体的に色が薄くなる（輝度値が低くなる）．剥離箇所がまだらで，ばらついている． $\alpha \leq 100 \cap p_0 \geq 0.01 \cap p_{45} \geq 0.01 \cap p_{90} \geq 0.01 \cap p_{135} \geq 0.01$
剥がれ	剥離箇所が固まっており，1つの剥離箇所の面積が大きい．太さの太い亀裂が見られる． $b_{25} \geq 0.1$
そのほか	上記 4 パターンにあてはまらない画像 上記 4 つの十分条件に当てはまらない場合

の条件を満たさない「そのほか」の 5 種類に劣化パターンを定義する．劣化パターンはひび割れしつつ剥がれるというように複数パターンが重複することもあり，一意に定まるわけではない．表 1 で定義した条件でパターン分類しても視認性との関係性はない．そこで，本研究では画像特徴をもとに画像をクラスタリングし，クラスと目視評価ランクとの関係を分析する．

5 劣化パターン分類とクラスタリングによる視認性評価実験

俯瞰画像から選別された 1214 枚の画像を用いて実験を行う．剥離率と視認性の関係を見るために，図 5 に剥離率と目視評価ランクの散布図を示す．横軸は剥離率 [%]，縦軸は 4 名の評価者による目視評価ランクの平均である．相関係数は -0.81 となり，先行研究 [3] と同程度の結果であった．この結果から，剥離率だけでは視認性を一意に表せないことがわかる．

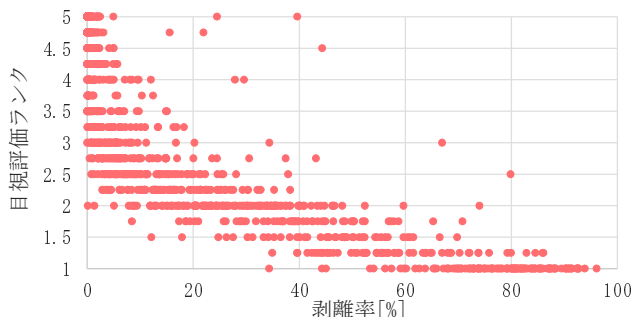


図 5 目視評価ランクと剥離率の関係

次に，表 1 の劣化パターンの定義の各式に基づき分類を行った．劣化パターンクラス毎の目視評価ランクが占める割合を図 6 に示す．図 6 から，どの劣化パターンクラスにおいても複数の目視評価ランクが分布していることが確認でき，このことから視認性を一意に表せないことがわかる．

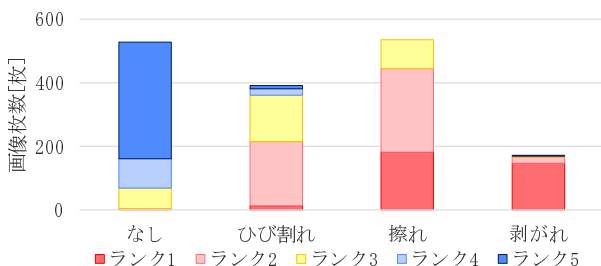


図 6 劣化パターンクラスと目視評価ランクの割合

そのため，第 4 節で述べた 10 個の画像特徴を用いて，4 クラスに画像クラスタリングを行う．クラス毎の目視評価ラン

クが占める割合を図 7 に示す．図 6 に比べ，目視評価ランクの分布に偏りが見られ，特にクラス 2 は剥離率と目視評価ランクに関係があることがわかる．そこで，剥離率を説明変数，目視評価ランクを目的変数として単回帰分析を行った．表 2 にクラスタリング前の全データおよびクラス毎の相関係数，単回帰分析結果を示す．ここで，推定値および正解値となる目視評価ランクは共に四捨五入により整数値とした上で，一致画像枚数および正解率を求めた．表 2 より，クラス 2, 4 は目視評価ランクを高精度に推定可能であることがわかった．また，クラス 1, 3 は全データの推定よりは正解率が高くなったものの，新たな画像特徴を用いるなどの改善の必要があるといえる．この結果から，劣化パターンを用いた客観的視認性評価の有効性を示した．

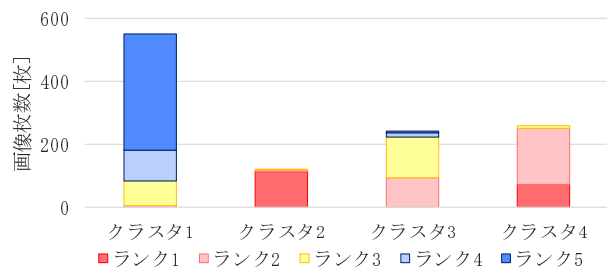


図 7 クラスと目視評価ランクの割合

表 2 クラス毎の相関係数，単回帰分析結果

	相関係数	一致画像 [枚]	正解率 [%]
全データ	-0.81	364	30.0
クラス 1	-0.33	308	52.8
クラス 2	-0.36	113	93.4
クラス 3	-0.23	130	51.8
クラス 4	-0.78	212	81.9

6 おわりに

本研究では，路面標示の維持管理の効率化に向けた連続的な区画線の剥離率推定を実現した．また，劣化パターン分類による客観的視認性評価の提案を行い，その有効性を示した．今後の課題は，実線以外の区画線に対しても，これらの手法を適用可能にすることである．

参考文献

- [1] 平澤 他，寒地土木研究所月報，no.686，pp.19-29，2010．
- [2] Asada, *et al.*, 11th International Conference on Asphalt Pavements, ISAP, ISBN 978-4-88950-712-6, vol.III, pp.11-20, 2010.
- [3] “路面標示ハンドブック”，(一社) 全国道路標識・標示業協会，2012．
- [4] 浅田 他，土木学会論文集 E1, vol.67, no.1, pp.10-21, 2011．